

UNIVERSITÉ DE PARIS -- FACULTÉ DE MÉDECINE

ANNÉE 1933

THÈSE

N° 610

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'UNIVERSITÉ

Soutenue devant la Faculté de Médecine de Paris en 1933

PAR

Michel THÉODOULOU

né le 8 Février 1897, à Nicosia (Chypre)

LA SPÉLÉOLOGIE
ET
L'HYGIÈNE PUBLIQUE

Président : M. L. TANON, Professeur

PARIS

ÉTABLISSEMENTS BUSSON

117, RUE DES POISSONNIERS

1933



UNIVERSITÉ DE PARIS -- FACULTÉ DE MÉDECINE

ANNÉE 1933

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'UNIVERSITÉ

Soutenue devant la Faculté de Médecine de Paris en 1933

PAR

Michel THÉODOULOU

né le 8 Février 1897, à Nicosia (Chypre)

LA SPÉLÉOLOGIE
ET
L'HYGIÈNE PUBLIQUE

Président : M. L. TANON, Professeur

PARIS

ÉTABLISSEMENTS BUSSON

117, RUE DES POISSONNIERS

—
1933

LE DOYEN : ROUSSY

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie.	ROUVIERE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale.	PROUST.
Physiologie.	BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale.	DESGREZ.
Bactériologie.	Robert DEBRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale.	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales.	BAUDOUIN.
Pathologie médicale	CLERC.
Pathologie chirurgicale	CHEVASSU.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie.	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale.	TIFFENEAU.
Thérapeutique	LOEPER.
Hygiène et médecine préventive.	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée.	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie.	Maurice VILLARET.
Clinique médicale	GARNOT.
	BEZANÇON.
	ACHARD.
	Marcel LABBE.
Hygiène et clinique de la première enfance.	LEREBOULLET.
Clinique des maladies des enfants.	NOBECOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux.	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	LENORMANT
Clinique chirurgicale	CUNEO.
	GREGOIRE.
	GOSSET.
Clinique ophtalmologique.	TERRIEN.
Clinique urologique.	MARION.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements.	BRINDEAU.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique.	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale.	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique.	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique.	SERGEANT.
Clinique de la tuberculose.	Léon BERNARD.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte.	MATHIEU.
	HOVELACQUE.
Professeur sans chaire.	MAUCLAIRE.
	MULON.
	VERNE.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ALAJOUANINE.	Neurologie et Psychiatrie.
AUBERTIN. . . .	Pathologie médicale.
BENARD Henri.	Pathologie médicale.
BROCQ.	Pathologie chirurgicale.
BRULE.	Pathologie médicale.
BUSQUET. . . .	Pharmacologie.
CADENAT. . . .	Pathologie chirurgicale.
CATHALA. . . .	Pathologie médicale.
CHABROL. . . .	Pathologie médicale.
CHAILLEY-BERT .	Physiologie.
CHEVALLIER. .	Pathologie médicale.
DOGNON.	Physique.
DONZELOT. . . .	Pathologie médicale.
ECAILLE.	Obstétrique.
FEY.	Urologie.
GASTINEL. . . .	Bactériologie.
GATELIER. . . .	Pathologie chirurgicale.
de GAUDART d'ALLAINES.	Pathologie chirurg.
GIROUD.	Histologie.
HALPHEN	Oto-rhino-laryngologie.
HARVIER	Pathologie médicale
HAZARD.	Pharmacologie.
HUGUENIN. . . .	Anatomie pathologique.
JOANNON.	Hygiène.

MM.

LABBE (Henri) .	Chimie biologique.
LAROCHE Guy .	Pathologie médicale.
LEVEUF.	Pathologie chirurgicale.
LEVY-VALENSI	Neurologie et Psychiatrie.
LIAN.	Pathologie médicale.
MONDOR	Pathologie chirurgicale.
MOREAU	Pathologie médicale.
MOULONGUET.	Pathologie chirurgicale.
MOURE	Pathologie chirurgicale.
OBERLING. . . .	Anatomie pathologique.
OLIVIER.	Anatomie.
PIEDELIEVRE .	Médecine légale.
PORTES.	Obstétrique.
QUENU.	Pathologie chirurgicale.
RICHET	Physiologie.
SANNIE.	Chimie biologique.
SEZARY.	Dermatologie et syphiligraphie.
TROISIER	Pathologie expérimentale et comparée.
VALLERY-RADOT.	
(Pasteur). . . .	Pathologie médicale.
VAUDESCAL . .	Obstétrique.
VELTER.	Ophthalmologie.
VIGNES	Obstétrique.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.

GUENIOT.	N...
LEQUEUX.	Obstétrique.
LEROUX.	Anatomie pathologique.

MM.

NEVEU-LEMAIRE .	Parasitologie.
RETTERRER . . .	Histologie.
ZIMMERN	Physique.

IV. — AGRÉGÉS

CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent

MM.		MM.	
ABRAMI.	Clinique médicale.	SCHWARTZ . . .	Clinique chirurgicale.
CHIRAY	Clinique médicale.	LE LORIER . . .	Clinique obstétricale.
DUVOIR.	Clinique médicale.	LEVY-SOLAL . .	Clinique obstétricale.
BASSET.	Clinique chirurgicale.	METZGER. . . .	Clinique obstétricale.
HEITZ-BOYER .	Clinique chirurgicale.	GUENIOT. . . .	Clinique obstétricale.
MOCQUOT . . .	Clinique chirurgicale.		

V. — CHARGÉS DE COURS

MM. MAUCLAIRE, professeur sans chaire	{	Chargé du cours de chirurgie orthopédique chez l'adulte pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes adultes.
FREY		Stomatologie.
CHAILLEY-BERT, agrégé.		Education physique.
LEDOUX-LEBARD.		Radiologie clinique.
WEIL-HALLE.		Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

M. le Professeur L. TANON

dont nous avons reçu le lumineux enseignement et auquel nous sommes redevables du meilleur de nos connaissances en Hygiène et en Médecine Coloniale,

Ma profonde et respectueuse gratitude.

A TOUS MES MAITRES DE LA FACULTE
DE MEDECINE DE MONTPELLIER ET DE PARIS

A M. R. DE JOLY

Spéléologue

Président du « Spéléo-Club de France »

qui a bien voulu me communiquer ses explorations personnelles,

Mes sincères remerciements.

A LA MEMOIRE DE MON PERE

trop tôt enlevé à mon affection.

A MA MERE

qui m'a prouvé que la force de la volonté
personnelle est au-dessus de toute difficulté
sociale.

En témoignage de ma grande affection.

A MA SŒUR

A MES FRERES

A MA TANTE

A TOUS MES AMIS

LA SPELEOLOGIE ET L'HYGIENE PUBLIQUE

INTRODUCTION

Parallèlement aux efforts de plusieurs savants de l'Ancien et du Nouveau Monde, notamment d'Autriche, d'Italie, d'Allemagne et des Etats-Unis, en France MM. E.-A. Martel et E. Fournier travaillèrent depuis un demi-siècle à créer une science nouvelle : « *La Spéléologie* » (1), dont les fins, autrefois purement scientifiques et théoriques, mais actuellement d'une grande importance pratique attirèrent, à juste titre, l'attention du public et de plusieurs savants et chercheurs en tête desquels nous devons citer les noms de R. de Joly et de N. Castellet. Les explorations parfois périlleuses de tous ces savants, leurs publications dans l'ancienne revue *Spélunca* et la nouvelle du *Spéléo-Club de France* (Montpellier) ont fait connaître un nouveau monde, une « France ignorée ».

Grâce à eux, que de sites souterrains aux riches couleurs et aux décorations naturelles si variées attirent à présent de nombreux touristes; que de pays privés jusqu'hier d'eau po-

(1) Etude des grottes souterraines.

table possèdent des sources pures; que de régions ont désormais abandonné des eaux considérées comme inoffensives, mais très dangereuses en réalité par leur souillure.

La mise en évidence du danger que présente pour la société l'utilisation non contrôlée de quelques eaux souterraines, *a priori* et inconsciemment considérées comme inoffensives, constitue pour la Santé publique et l'Hygiène sociale une très heureuse révolution.

La loi rationnelle du 15 février 1902, qui a placé sous sa protection les eaux souterraines, les divers congrès d'hygiène et d'hydrologie; les associations filiales du *Spéléo-Club de France* fondées pour le développement de cette science nouvelle; les nombreux comités d'études des eaux souterraines, ne sont-ils pas les résultats précoces et bienfaisants des efforts personnels de ces hommes de mérite et de leur dévouement?

S'efforcer vers le bonheur public pour le présent et l'avenir; s'estimer heureux de pouvoir se rendre utiles gratuitement; travailler pour la science et la société, telle est leur devise.

PREMIERE PARTIE

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

I. — FORMATION DES GROTTES ET FISSURES

Le premier rôle de la formation des eaux souterraines revenant, comme le formulait Daubrée, aux cassures et fissures du sol, nous devons faire un bref aperçu de cette fissuration terrestre.

L'écorce terrestre étant le siège incessant de l'action des divers facteurs mécaniques ou chimiques, se modifie continuellement en sa morphologie externe et sa structure interne.

Ces transformations qui n'intéressent que la croûte solide (« Sial » de Weyner), si minimes qu'elles soient par rapport au rayon terrestre, ont cependant une importance considérable, non seulement en hydrogéologie et spéléologie, mais aussi en hygiène sociale, à cause de leur influence sur la circulation des eaux; la vie humaine est intimement liée à cette dernière; l'hygiène sociale en dépend.

Parmi les principaux facteurs modificateurs de l'écorce, nous citons :

Le Mouvement. — Le séisme ou tremblement de terre provoqué, selon la théorie des géologues, par la contractilité de la pyrosphère, a comme répercussion tectonique extérieure un spasme plus ou moins brusque de l'écorce solide; la conséquence en est souvent la formation des cavités ou avens ou

bétoires et de fissures ou diaclases dont l'étendue en surface et en profondeur — tout en étant très variable — peut atteindre parfois plusieurs kilomètres.

La Chaleur. — La pyrosphère, qui maintient par sa température considérable, tous les corps à l'état liquide, immobilise par endroits les dépôts métallifères dans les cassures pré-existantes et les transforme en filons.

L'eau qui traverse ces filons en sort par des griffons, chaude et riche en sels minéraux, constituant ainsi les sources thermales et minérales.

L'Eau. — L'eau des pluies pénétrant soit par infiltration ou percolation, soit par imbibition — selon les terrains — modifie l'écorce par sa triple action :

a) par *érosion* : action mécanique produisant le creusement, l'usure, la démolition, le déblaiement, le transport, le remblaiement; en d'autres termes, le déplacement des particules du sol de l'extérieur vers l'intérieur par l'effet du courant d'eau, entraînant des colmatages plus ou moins durables;

b) par *corrosion* : action chimique de dissolution et combinaison avec les divers corps du sol, analogue à l'action des acides sur les métaux;

c) par *pression hydraulique* qui s'exerce seulement quand la masse d'eau est plus ou moins grande.

L'eau chargée de carbonate de chaux le dépose à nouveau lorsqu'elle revient à l'air libre en libérant le gaz carbonique. Les stalactites et les stalagmites ainsi constituées forment les décorations naturelles du sous-sol.

II. — ORIGINES DES EAUX SOUTERRAINES. .

Platon, ne s'écartant pas de la mythologie grecque, pensait que l'eau de la terre venait de l'Océan et y retournait en tombant dans un grand abîme, le Tartare.

Aristote, qui a étudié les cavernes de Thrace, croyait que l'eau évaporée du sol, se condensait dans les cavernes refroidies des hautes régions et y formait des lacs souterrains qui alimentent les sources et les ruisseaux.

Thalès de Milet est plus près de la vérité; il dit que les vents se chargent de vapeur d'eau de la mer; ces vapeurs en se refroidissant tombent sur le sol, y pénètrent en partie et retournent à l'Océan.

C'est Vitruve qui attribue le premier la formation des sources à la pluie et à la neige fondue; cette eau pénètre dans le sol jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par une couche de pierre ou d'argile qui la force à trouver une issue.

Théorie actuelle : « Le premier rôle revient aux cassures souterraines », formulait Daubrée battant l'ancienne doctrine austro-allemande de *grundwasser* (eau de fond). Les diaclases, avens, abîmes, toutes les ouvertures de la surface drainent l'eau météorique.

Toutes ces cavités, comparables à de véritables bouches d'aspiration, sont la cause de la grande déperdition des eaux de surface qui s'enfoncent dans les profondeurs du sol, suivant les voies déjà tracées depuis longtemps. Ces eaux vont au loin alimenter les sources charriant en même temps tout ce qu'elles ont pu ramasser à la surface.

L'origine des eaux souterraines est indiscutablement la pluie qui s'infiltre et est arrêtée par les couches imperméables; il

est universellement connu que les sources augmentent leur débit pendant les pluies et les neiges et diminuent pendant la sécheresse. Elles sont liées intimement aux précipitations atmosphériques.

Bouvier a montré en 1879 que la provenance de la Fontaine de Vaucluse est dans l'infiltration pluviale absorbée par les plateaux urgoniens, étendus du Mont Ventoux au Mont Lubéron, avec ses nombreux avens comblés d'immondices de voirie, où passent les pluies drainées ensuite vers la Fontaine de Vaucluse. Les affluences de pluie produisent les crues de la Fontaine.

La portion d'eau susceptible de s'infiltrer dans les terrains perméables ne dépasse guère le $\frac{1}{5}$ ^e des chutes annuelles; les pluies estivales s'écoulant rapidement à la surface, ne paraissent pas alimenter les réserves souterraines.

L'eau de pluie pénètre par infiltration, par percolation à travers les diaclases les plus étroites, par les abîmes les plus vastes qui engloutissent même des rivières entières (Doubs), par les catavothres qui font disparaître des lacs entiers (Copaïs, Stymphalis en Grèce).

L'origine de la Fontaine-l'Evêque a été découverte par 20 kilos de fluorescéine jetée dans les pertes de l'Artuby à Chardon-Praguillen; le colorant fut retrouvé, au bout de cinq jours, au fluoroscope seulement, à la résurgence de la Fontaine-l'Evêque. Cette expérience a établi que les pertes de l'Artuby peuvent communiquer sous terre avec la source de la Fontaine et concourir partiellement à son alimentation; les troubles constatés parfois à cette source proviennent des orages engloutis dans les avens, ou des débâcles dans des cavernes inconnues où on a trouvé quelques bactéries, notamment le coli. Cette source alimente en partie Marseille, Toulon et quelques localités voisines.

L'ancienne théorie, attribuant comme origine aux eaux souterraines non pas la percolation des pluies, mais la condensation des vapeurs d'eau contenues à l'intérieur du sol, a été démontrée entièrement fausse par de multiples observations récentes.

Par contre, quelques travaux de mine ont rencontré des

eaux souterraines fossiles, emprisonnées dans des poches étanches de terrains, probablement lors de la formation de la surface terrestre.

Un rôle important est joué par les bois qui favorisent l'infiltration des pluies par le procédé de « goutte à goutte naturel ».

L'eau ainsi accumulée dans le sol forme, suivant la nature du terrain, des nappes, des lacs, des rivières souterraines, formations qui souvent communiquent entre elles et cherchent un exutoire vers le plan de base.

PARTICULARITÉS DES TERRAINS CALCAIRES

Evidemment tous les terrains ne sont pas perméables au même degré.

Le terrain calcaire n'est pas poreux; mais par contre étant très fissuré, véritable crible, il laisse passer l'eau; il est en même temps très sensible à la corrosion de l'eau chargée d'acide carbonique (emprunté soit à l'atmosphère, soit aux matières organiques traversées). La perte de cours d'eau de surface y est fréquente.

t La montagne de Thaurac (Hérault), constituée de calcaire, est percée comme une écumoire, puisqu'à l'heure actuelle on y a déjà exploré une douzaine de cavités dont les plus importantes visitées par E.-A. Martel sont celles des « Poteries », du « Soleil », du « Figuier », du « Pater » et des « Demoiselles » qui est la plus intéressante et la plus vaste par sa constitution générale et par ses magnifiques concrétions stalactites et stalagmites. D'autres cavernes, celles du « Per-

rasse », du « Laurier », de « La Falaise », des « Camisards » ont été explorées par R. de Joly.

La perte et le canon du Rhône sont un autre exemple très connu; de Saussure avait dit de la perte du Rhône : « ... le fleuve a creusé les roches au point de se cacher et de disparaître entièrement... les blocs accumulés cachent pendant l'espace d'environ soixante pas le fleuve renfermé dans le fond de ce conduit souterrain; c'est donc là que le Rhône est réellement perdu; on peut le traverser à pieds nus... »

Dès 1904, E.-A. Martel avait prévu et exposé qu'en réalité le Rhône s'engouffrait à sa perte dans un véritable abîme parce qu'il avait rencontré une grande diaclase du terrain calcaire, où d'horizontal son cours était devenu vertical, c'est-à-dire s'engageait en profondeur pour en ressortir très loin en sources.

D'où l'intérêt pratique en cas de tentative de captage des eaux potables, que présente l'examen du terrain sachant que dans un sol calcaire il n'y a pas de nappe d'eau et que cette eau est toujours suspecte, puisqu'elle y circule à travers de nombreuses fissures ou diaclases.

Dès 1892, Putzeys a le premier en Belgique attiré l'attention sur le danger que présentent les eaux issues de calcaire.

Les pertes du Danube, du Doubs, les cours d'eaux internes de Padirac, de Bramabiau, etc., sont une démonstration flagrante ruinant la théorie allemande de l'eau de fond (*grundwasser*).

La formule du grand hydrogéologue français A. Martel disant que « Les eaux d'infiltration sont absorbées par les bêttoires, abîmes et diaclases du sol, emmagasinées et écoulées par les cavernes, rendues et débitées par les résurgences d'eaux percolées » garde pour toujours sa valeur.

Particularités des terrains sablonneux. — Le terrain sablonneux est par contre très perméable par infiltration plus ou moins lente selon les dimensions des pores; c'est un véritable filtre; les nappes d'eaux qui y sont très fréquentes sont généralement pures (principes des filtres à sable).

RÉAPPARITION DES EAUX

Toute émergence n'est pas une vraie source, si l'on conserve au mot « source » le sens de sortie naturelle d'une eau fraîche, limpide, digestive, pure bactériologiquement et chimiquement, constante thermométriquement. Toute émergence n'indique pas une eau vierge; c'est une réapparition, une *résurgence* (resugere) le plus souvent. Si pour un terrain perméable par imbibition (détritique, argileux, sablonneux), une émergence peut être une vraie source, il n'en est pas de même pour tous les terrains fissurés, notamment le calcaire et la craie.

Les innombrables expériences à la fluorescéine, les analyses chimiques, bactériologiques, minéralogiques, électriques, thermométriques et autres, ont montré maintes fois que leurs émergences n'étaient que les eaux de percolation ayant coulé de la surface du sol et traversé des abîmes ou des cavernes où elles ont pu être contaminées. Les vraies sources dans les terrains calcaires sont rares. « La source pure n'est plus qu'un idéal », écrivait Duclaux en 1903 (*Annales de l'Institut Pasteur*).

ÉPREUVES COURANTES PERMETTANT
DE DIFFÉRENCIER LES RÉSURGENCES

1° *Fluorescéine.*

Excellent moyen, très pratique, à la portée de tous, mais assez coûteux. En réalité, lorsque l'on dit que l'on emploie la fluorescéine, ce n'est pas tout à fait exact car la fluorescéine qui est un mélange d'anhydrite phtalique et de résorcine est une poudre jaune ocre, insoluble dans l'eau; on emploie un sel sodique de fluorescéine, poudre brun rougeâtre qui est soluble dans l'eau et donne par réflexion une belle fluorescence verte.

On jette une quantité plus ou moins grande, selon la distance et l'abondance des eaux, de colorant dans une perte d'eau, une rivière, un lac, un abîme, etc., dont on suppose que les pertes réapparaissent par une soi-disant source; si une coloration verte jaunâtre fluorescente réapparaît, l'épreuve est positive, l'eau est contaminée, l'émergence n'est qu'une résurgence.

Pour les quantités faibles de fluorescéine ou pour la réapparition d'une eau dont la couleur à l'œil nu est discutée, on emploie le fluoroscope (de Trillat), constitué par des tubes de verre spécial de 1 m. 25 de long, bouchés à leur extrémité inférieure par un bouchon noirci. Avec un tel appareil on peut déceler des traces infinitésimales de fluorescéine qui, notons-le, est absolument inoffensive.

Il suffit d'un ou 2 kilos par kilomètre de distance et par mètre cube de débit. La vitesse de translation peut atteindre

10 kilomètres par 24 heures, mais bien souvent elle est très faible.

(A part la fluorescéine, on peut employer la bière, l'amidon.)

M. Casteret lorsqu'il recherchait, en 1931, si les Goucils (Haute-Garonne) étaient bien l'origine de la Garonne, mit 60 kilos de fluorescéine dans la cascade en amont du « Trou du Toro » (Alt. 2.000 m.) en Espagne, sans employer de dissolvant. La tentative réussit à merveille puisque son hypothèse se vérifia au bout de dix heures. Les Goucils, situés 600 mètres plus bas et à 3 km. 500 de distance, étaient nettement colorés. L'eau espagnole du Trou du Toro était bien l'origine de la Garonne de l'autre côté de la ligne de partages des eaux européennes.

2° *Analyse bactériologique.*

C'est la recherche la plus sûre, mais, elle seule, ne suffit pas à confirmer la bonne qualité d'une eau si elle est négative; par contre, elle condamne l'eau de la façon la plus catégorique si elle est positive. Les bactériologistes, qui s'occupent spécialement de la question, ont raison d'insister sur les précautions à prendre tant pour le prélèvement de l'échantillon que pour le transport.

A cet effet, un commis expérimenté serait indispensable, car, trop souvent, les gens des communes commettent, par leur ignorance et par leur inconscience, des fautes incommodant fort les recherches.

Les divers appareils pour le prélèvement (de Miquel, de G. Roux, etc.) et la boîte à glace pour le transport (de Vincent) sont des moyens qu'on ne saurait assez recommander à toute expertise.

Quant à la recherche bactériologique proprement dite, il y a lieu de faire une analyse quantitative, c'est-à-dire une énumération des colonies et des germes, et une analyse qualitative, en vue d'identifier le ou les germes.

La flore microbienne des eaux comprend plusieurs genres, mais on doit s'attaquer à la recherche des plus pathogènes, notamment du colibacille, du b. typhique avec les para A et B, du b. dysentérique avec ses variétés et du vibrion cholérique;

la recherche du coli constitue la partie essentielle, car sa présence indique une contamination par les déjections humaines et l'eau doit être par conséquent rejetée.

Pour la recherche du coli, le procédé de H. Vincent sur l'eau peptonée, salée et phéniquée ou le procédé de Nicolle sur bouillon au rouge neutre paraissent très suffisants.

Pour la recherche du b. typhique qui est extrêmement difficile — le bacille disparaissant presque toujours quand l'épidémie éclate — le procédé de Vallet-Schneider par précipitation et centrifugation et mieux encore la recherche sur l'enduit des parois d'une bougie filtrante sont très précieux.

Pour le vibrion cholérique, un simple ensemencement sur eau peptonée salée et la recherche de la liquéfaction en clou de la gélatine sont des procédés suffisants.

Quant à l'analyse quantitative, on doit observer rigoureusement le tableau de Miquel :

de 0 à 10 bactéries par cm³, l'eau est excessivement pure.

de 10 à 100 bactéries par cm³, l'eau est très pure.

de 100 à 1.000 bactéries par cm³, l'eau est pure.

de 1.000 à 10.000 bactéries par cm³, l'eau est médiocre.

de 10.000 à 100.000 bactéries par cm³, l'eau est impure.

Pour la colimétrie, le tableau de H. Vincent doit être rigoureusement observé :

de 1.000 à 10.000 colis par litre, l'eau est dangereuse.

de 100 à 1.000 colis par litre, l'eau est suspecte.

de 50 à 100 colis par litre, l'eau est à surveiller.

de 10 à 50 colis par litre, l'eau est bonne à boire.

à 0 coli par litre, l'eau est très pure.

A côté de l'analyse bactériologique proprement dite, on est amené parfois à effectuer une analyse parasitologique pour rechercher surtout les œufs et les embryons des helminthes.

3° *Analyse chimique.*

Elle décèle les substances en solution ou en suspension dans l'eau :

a) minérales : acide sulfurique, alumine, argile, chaux, chlore, fer, magnésie, potasse, soude, silice;

b) organiques : acide azoteux et azotique, carbonique, phosphorique, ammoniacque, hydrogène sulfuré, nitrites et nitrates, chlorures, sulfates, etc.

Des précautions pour le prélèvement doivent être observées; on emploie des appareils spéciaux (de Heyroth, de Dunbar).

La présence de *nitrites et nitrates* constitue le point essentiel, car elle indique une décomposition des matières organiques et, par conséquent, une contamination certaine de l'eau et un danger imminent.

La transformation des matières organiques se fait grâce aux germes aérobies et anaérobies du sol. La molécule albuminoïde passe à l'état de sels ammoniacaux, puis à l'état d'acide nitrique sous l'influence des ferments nitreux et nitriques; l'acide nitrique donne avec les bases alcalines et alcalinoterreuses du sol des nitrites et nitrates solubles.

On se contente en pratique à l'analyse qualitative de tous les sels organiques, car la présence d'un tel sel, même en quantités infinitésimales suffit pour indiquer une contamination certaine.

Parmi les nouveaux procédés pour déceler les nitrites, le réactif de Tromsdorf qui donne une coloration bleue — si la réaction est positive — est précieux. Pour les nitrates, la brucine seule suffit, donnant une coloration rouge — si la réaction est positive.

La présence de l'*ammoniaque* a la même interprétation fâcheuse.

La présence de *chlorures* indique une contamination par les urines, à moins que l'analyse géologique n'ait révélé ce sel dans le sol.

L'*oxydabilité* des eaux, déterminée au moyen de la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques contenues dans l'eau, indique la présence de ces dernières et, par conséquent, la contamination des eaux. (Méthode de Kubel-Tiemann, générale pour toutes les matières organiques.)

On admet qu'une eau potable ne doit pas contenir plus de

3 milligrammes de matières organiques par litre. Un milligramme de nitrites indique une souillure animale.

4° *Analyse géologique.*

Elle met en évidence des sels minéraux analogues aux sels des gisements des rivières, des lacs, des cavernes, des abîmes, etc., et indique que l'eau est une réapparition, que la source est une résurgence.

5° *Thermométrie.*

Toute variation de la température de l'eau à l'émergence indique un apport plus ou moins direct de l'extérieur. E.-A. Martel donne les règles suivantes en ce qui concerne le captage des eaux :

a) Les émergences ne méritent vraiment le nom de sources que lorsque leurs variations de température sont à peu près nulles; dans ce cas, en effet, on peut préjuger l'origine véritablement souterraine de l'eau, géothermiquement équilibrée dans le sol à l'abri de tout mélange artificiel et impur ou bien sous des conditions de séjour et de contact au sein de la roche qui favorisent tout spécialement la stérilisation naturelle.

b) On peut admettre, pour les variations, qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de celles qui sont inférieures à 0°5, cette tolérance paraissant nécessaire pour les erreurs d'observation et les imperfections instrumentales.

c) Dès que l'écart approche de 1° c., l'émergence rentre dans la catégorie des résurgences, c'est-à-dire des eaux sujettes aux contaminations par infiltrations lointaines ou rapprochées, qui, selon la saison et le volume des eaux et autres facteurs, influent en froid ou en chaud sur l'émergence.

d) L'observation thermométrique devrait être faite, sinon pendant une année entière en plusieurs reprises, du moins à quatre reprises : en hiver, à l'étiage (pendant la sécheresse), en crue (après les pluies) et en été; une seule observation est insuffisante,

e) Les mêmes règles s'appliquent, en principe, aux nappes phréatiques, parce que la contamination en est généralement très aisée et que le plus souvent, les puits s'alimentent à de vrais réseaux de fissures au lieu de réelles nappes d'interstices.

f) La véritable loi, tant au point de vue hygiénique et météorologique, est la suivante : La température et le débit des eaux souterraines varient d'une saison à l'autre ; le degré de filtrage étant fonction de la vitesse de transmission, il y a autant de chance de pureté que la température et le débit sont peu variables.

Pour préciser la thermométrie, on emploie un thermomètre spécial, mais, à défaut, on peut se servir d'un thermomètre ordinaire dont on protège l'ampoule par une couche d'ouate. On le plonge soit dans l'eau directement, soit dans un vase et on lit le degré sans le retirer.

6° *Résistivité électrique.*

Les études de Schlumberger ont montré que les variations de la résistivité ou conductibilité électrique des eaux sont fonctions de leur composition saline et, par conséquent, de leur impureté. En effet, un simple contact des eaux avec les éléments de pollution comme défécations, fumiers, déchets industriels, etc., ou un apport extérieur, influent sur leur composition saline et, par conséquent, sur leur résistivité électrique.

Cette résistivité est toujours invariable si l'eau souterraine ne communique pas avec l'extérieur.

Diénert de Paris pense que la résistivité électrique des eaux est le reflet fidèle de leur minéralisation. Cette résistivité a été beaucoup étudiée à l'Institut d'hydrologie du Collège de France par MM. Bordas, Touplain et par M. Guillard. La thèse de Laurent (Paris, Faculté de Médecine, 1932) a traité tout particulièrement ce point.

7° *Hydrotimétrie.*

C'est l'étude de la richesse des eaux en sels calcaires et magnésiens.

Cette expérience repose sur la propriété du savon de donner avec l'eau une mousse d'autant plus abondante que l'eau est plus douce, plus pure. Si l'eau contient des sels calcaires et magnésiens qui précipitent le savon, il ne se produira une mousse persistante que lorsque le savon sera en excès.

La quantité de savon liquide employé jusqu'à l'apparition de la mousse correspond à la quantité de sels calcaires et magnésiens que l'eau contient.

Un degré hydrotimétrique équivaut en poids et par litre à un centigramme de carbonnate de chaux. (1° français = 0°56 allemand = 0°70 anglais).

Le degré hydrotimétrique total est de 0° pour l'eau stérilisée, 3°5 pour la pluie normale, 5°5 pour la Loire, 15° pour le Rhône et la Saône, 15° à 23° pour la Seine.

A partir de 25° à 30°, une eau est très dure, crue, lourde pour la boisson, elle dissout mal le savon et est impropre aux usages industriels; à 35°-40°, elle ne cuit plus les légumes.

Il y a des eaux très calcaires qui peuvent atteindre 80°.

Par contre, les eaux trop douces, trop pures, au-dessous de 5° se rapprochent des eaux stérilisées, des eaux bouillies et sont moins digestives; elles attaquent le plomb des canalisations. Il n'y a que l'industrie qui puisse en tirer profit.

SOURCES THERMALES ET MINÉRALES

Leur origine est, comme pour les autres sources, extérieure; c'est l'eau des pluies qui, infiltrée et descendue en profondeur, où elle s'échauffe et se charge de sels minéraux, remonte par thermo-siphon à la surface, à travers les fractures du sol et sourd par les griffons.

Armand Gauthier pensait qu'à côté de cette origine exogène, pluviale, il existe aussi une origine endogène, plutonique, formant des eaux vierges ou eaux juvéniles, comme il les appelait. Il se peut que la combinaison chimique produisant l'eau se fasse en profondeur, mais il est toujours probable que la température critique (360°) limite ce phénomène à une zone proche de la surface.

DEUXIEME PARTIE

HYGIENE PUBLIQUE

L'ouvrage de Daubrée, publié en 1888, a révélé des faits inconnus et insoupçonnés, relatifs aux dangers que présentent, pour la santé publique, certaines eaux souterraines. Et ces dangers viennent de terrains calcaires, toujours fissurés, et dont les diaclases et anaclases étant trop larges, ne peuvent pas retenir les microbes, ne peuvent pas filtrer les eaux comme le font les terrains sablonneux, par exemple.

C'est justement à cause de la fissuration de ces terrains que les sources ne sont autre chose que les eaux, perdues en surface, des rivières, des lacs, des catavothres, etc., et les eaux pluviales qui s'infiltrent, chargées de germes qu'elles ont pu recueillir avant de pénétrer dans le sol, à travers les fissures trop larges, véritables cribles.

Sur un massif urgonien, en Savoie, R. de Joly montre que trois grottes, situées à des endroits éloignés les uns des autres et à des hauteurs différentes, communiquent avec un captage d'eau alimentant quatre communes voisines. Or, à la suite des crues, l'eau pluviale inonde toutes les galeries des grottes et lors de l'étiage les boues avec leurs impuretés viennent polluer l'eau d'alimentation.

L'incendie d'une fabrique d'absinthe, en 1901, à Pontarlier,

a montré de la façon la plus évidente que les pertes du Doubs (entre Arciers et Maisons-du-Bois) constituaient les eaux de la source de la Loue puisque celle-ci présenta deux jours après l'odeur caractéristique de l'absinthe.

La théorie de l'origine hydrique des diverses maladies infectieuses étant déjà mise à jour dès la fin du XIX^e siècle, plusieurs géologues et autres savants hygiénistes ont sonné la cloche du danger de la contamination de plusieurs eaux souterraines.

Les investigations de R. de Joly montrent, à Saint-Pons (Hérault), que la source du Jaur, employée de tout temps, communique avec une grotte servant de latrines au-dessus du plan d'eau, et, plus loin, sur la colline, avec les infiltrations d'un ancien château, servant actuellement de dépotoir à un quartier misérable. Ainsi les eaux d'infiltration entraînant les ordures, les détritiques de toutes sortes et les déjections humaines, viennent polluer la source, ce qui constitue un danger continuel pour la population « qui est obligée de boire ses propres excréments ».

E.-A. Martel présenta en 1892 à l'Académie des Sciences un rapport important dans lequel il indique que plusieurs gouffres visités et explorés par lui, du Jura aux Pyrénées, communiquent plus ou moins directement avec les courants d'eau souterrains et que leurs émergences sont cependant considérées comme des sources pures. Or, ces gouffres sont plus ou moins souillés. Voici quelques passages de ce rapport :

« ... les terrains calcaires sont souvent percés à leur surface de trous plus ou moins larges, origines des puits verticaux naturels nommés : avens, abîmes, gouffres, etc... Les explorations auxquelles je me suis livré depuis 1888, à l'intérieur de ces abîmes, ont démontré que sur quarante gouffres visités à fond en 1891, dix communiquent plus ou moins directement avec les courants souterrains qui drainent les eaux des pluies à travers les fissures du sol et les font réapparaître dans les vallées sous forme de sources généralement considérées comme très pures.

Or, les habitants de campagne ont l'habitude de se servir de ces trous comme de dépotoirs et d'y jeter toutes sortes

d'immondices, notamment les bêtes mortes, les carcasses des bestiaux se décomposent ainsi, loin des habitations, à des profondeurs qui varient de 25 à 200 mètres.

Quand un ruisseau circule ou prend naissance au fond du gouffre, il peut arriver que l'eau, délavant ces cadavres, devienne le véhicule de leur décomposition et qu'elle parvienne dangereusement souillée à la source où elle voit le jour.

Le 14 juillet 1891, nous rencontrions une carcasse de veau, à moitié pourrie, au milieu même d'un ruisseau souterrain, dans le gouffre de la Berrie, profond de 34 mètres. Quelques heures après l'exploration de cet abîme, et sans réfléchir à la constatation que nous venions de faire, nous nous désaltérions à la source voisine de Graudène qui correspond d'une façon sûre avec le ruisseau intérieur de la Berrie. Deux jours après, nous fûmes atteints d'une sorte d'empoisonnement qui nous indisposa fort pendant plusieurs semaines. Cette expérience involontaire était convaincante.

Au fond de l'avens de « Baume-Vidal » (Hérault), R. de Joly rencontre plusieurs centaines de chauves-souris, gisant sur le sol, frappées à mort probablement pendant leur hivernage, soit par une épidémie, soit par un gaz délétère. Au fond des avens de Cals (Aveyron), de la Rouveyrette (Ardèche), de Pontières et de Rabanel (Hérault), de la Figueyrolle, des Roberts et du Rocher du Midi (Gard), il trouve des squelettes humains d'époques diverses : s'agit-il de sépultures ? de crimes ? d'accidents ? de suicides ? Toutes les hypothèses sont possibles, ce qui n'exclut pas le danger permanent de contamination puisque la plupart de ces avens sont l'origine de sources voisines.

Depuis des siècles, en effet, les abîmes, les gouffres et, en général, tous les trous de la surface terrestre, servaient et servent encore malheureusement de dépotoirs pour les paysans ; les eaux qui y passent lavent ces cadavres et entraînent avec elles tous les produits de leur décomposition, tous les germes pathogènes pour les ramener ensuite aux émergences et les livrer à la consommation.

C'est à ce propos que, dès 1892, E.-A. Martel formulait les vœux suivants relatifs à la protection des régions d'infiltration des eaux souterraines :

1° Une connaissance approfondie — pour les régions calcaires — de toute ouverture de la surface susceptible de communiquer plus ou moins directement avec les eaux souterraines, qui alimentent les sources.

2° Interdire de jeter des immondices et des bêtes mortes dans les gouffres, en les protégeant soit par des voûtes, soit par des clôtures; on évitera ainsi les accidents fréquents et les chutes fortuites des bestiaux.

Car il n'existe pour ainsi dire par une grotte au fond de laquelle les explorateurs n'aient trouvé une charogne :

Dans l'avens de Suénilles (Hérault), R. de Joly rencontre des centaines de brebis mortes, créant un air irrespirable; or, les eaux de la Lirou et du Lez ne sont pas loin.

Le même explorateur trouve dans l'avens des « Roberts » (Gard) plusieurs crânes humains à côté d'ossements d'animaux.

N. Casteret découvre au fond du gouffre de la rivière souterraine d'Izaut un amas de carcasses de vaches, de moutons, de chèvres, de chiens qu'on y précipite depuis un temps immémorial; cet amas de charogne est traversé et lessivé par les eaux qui ruissellent en tout temps le long des parois et surtout après les pluies, acheminant leur terrible bouillon de culture à travers les roches fissurées et impuissantes à les filtrer, pour aller émerger vers une source quelconque.

R. de Joly explorant la source des « Gardies » (Hérault) trouve qu'elle n'est autre chose que la résurgence d'une grotte située à côté d'une maison de ferme; de cette maison, un escalier conduit à une fromagerie souterraine (de Roquefort); or, cette fromagerie est justement la partie haute de la grotte empruntée par l'eau de la source des « Gardies » qui charrie ainsi tous les déchets dangereux de cette industrie.

Voilà comment N. Casteret décrit le fond de la grotte « Cagire » (Pyrénées) dans le N° 2 de la *Spélunca* 1931 :

« ... Une odeur pestilentielle monte vers moi, et je constate que la pente est encombrée de charognes plus ou moins décharnées; surmontant mon dégoût, je m'engage résolument vers la porte béante où tourbillonne un essaim de mouches

affairées. La porte franchie, un spectacle hideux s'offre à mes yeux : un vestibule recélant un fleuve croulant, un amas de carcasses enchevêtrées sur plusieurs épaisseurs s'enfonce sous terre. Je dévale le long de cet ossuaire où, dans les fouilles des cerceaux des côtes, dominent les crânes des bovidés aux cornes menaçantes et le rictus, dents ouvertes, des chevaux et des ânes.

« A la base du talus, un enduit noirâtre, innommable, issu de ce magma, suinte et s'épanche sur le sol en formant un ruisseau empoisonné qui s'écoule dans une vaste salle.

« J'aime trop les cavernes, dit-il, pour m'appesantir sur cette vision de cauchemar, mais je ne peux m'abstenir de dénoncer que c'est l'inconscience et l'inconséquence de l'homme qui créent et entretiennent, dans la plupart des puits naturels, des charniers analogues.

« Effroyables foyers de contamination, doublement redoutables de par leurs nuées de mouches qui font la navette entre ces gouffres et les villages voisins, et par les eaux souterraines qui rincent les charognes, coulent librement dans les couloirs des grottes et finissent toujours par ressortir à l'air libre, sous forme de fausses sources, fraîches et limpides à l'œil, sapides au goût, mais nullement filtrées; véritables bouillons de culture qui véhiculent les bacilles des plus terribles maladies; malheur à l'étranger, au chasseur, au touriste, au promeneur, qui, en région calcaire, se désaltère à une de ces jolies sources toujours et partout réputées, mais qui tuent tous les ans beaucoup de personnes... »

On pourrait citer, d'après E. Fournier, des centaines d'autres sources contaminées :

La source d'Arcier, qui alimente Besançon;

La source du Parc, qui alimente Montbéliard;

La source de Martin-et-Ponthibaud, qui alimente Pontarlier;

La source de Foules, qui alimente Saint-Claude;

La source de la Doye, qui alimente Morez;

La source du Sonjet, qui alimente Saint-Amour;

La source d'Aiglepierre qui alimente Mouchard;

La source de Terrot, qui alimente Vercel;

La source du Gros-Pré, qui alimente Fesche-le-Châtel;
Etc., etc.

Les sois fissurés, déclarait Martel, sont en effet, non pas des filtres, mais de véritables cribles qui entraînent toutes les impuretés de la surface vers les résurgences à travers le complexe réseau des joints et des diaclases, dont le pouvoir filtrant et épurateur est à peu près nul; et comme la plupart des émergences se rencontrent dans les terrains calcaires, il n'y a, en réalité, que de très rares eaux pures à la surface et à l'intérieur du sol.

Les eaux de la Dhuys, de la Vanne et de l'Avre amenées à Paris n'ont nullement la pureté hygiénique supposée. Presque toutes, on peut même dire toutes, sont susceptibles, vu leur gisement géologique, d'être contaminées par des infiltrations d'eaux de surface.

L'enquête géologique de 1900 a démontré que ces sources communiquent avec la surface; l'enquête médicale montra à son tour que certaines épidémies typhiques des localités voisines des sources se reproduisent à Paris; la fluorescéine a d'ailleurs confirmé le résultat de ces enquêtes.

Miquel avait énuméré plus de 1.000 bactéries par centicube pour les eaux de la Vanne, plus de 1.500 pour les eaux de l'Avre et près de 4.000 pour celles de la Dhuys.

De nombreuses expériences ont montré actuellement que les bactéries pathogènes se développent et se reproduisent à foison dans les cavernes et les rivières souterraines. Les pluies, nous déclarent Fournier et Maréchal, provoquent de véritables remises en mouvement des réserves bactériennes de l'étiage ou des boues, qui ainsi amenées au dehors, provoquent des épidémies.

A côté des gouffres-dépotoirs, il y a lieu de signaler les souillures de la surface telles que cimetières, tombes de champs de bataille.

Les sources communicantes demeurent contaminées pendant plus d'un an.

Baudoin et Lacouloumère ont fait analyser les boues des puits funéraires romains de Troussepoil (Vendée), contenant des squelettes d'animaux domestiques; ces boues avaient des

bactéries à l'état de vie ralentie depuis l'enfouissement des cadavres en vase clos, c'est-à-dire depuis dix-huit siècles.

Quant aux eaux minérales, Moissan déclarait, dès 1894, à l'Académie de Médecine, que nombre de sources thermo-minérales ne seraient pas exemptes de bactéries, soit parce qu'elles ne sont pas à l'abri de percolations extérieures suspectes et dangereuses, soit parce que leur captage ou leur embouteillage ne présente pas toutes les garanties voulues au point de vue hygiénique.

Von Rigler déclarait, de son côté, à Klausenburg, en 1901, que des bactéries existent dans les eaux minérales.

Nombre d'eaux de table du commerce, vendues en bouteilles sous de louangeuses étiquettes comme eaux naturellement pures, sinon comme eaux naturelles minérales, ne sont pas hygiéniquement contrôlées.

C'est pourquoi l'Académie de Médecine a demandé, en 1919, qu'il fût procédé à une révision des règlements visant l'industrie des eaux de table et celle des eaux artificielles, afin de mettre les dits règlements en harmonie avec les exigences actuelles de l'hygiène.

Au Congrès d'Hygiène et de Climatologie de Monaco en 1920, sous le rapport de d'Arsonval et Bordas, a été émis le vœu qu'on réglementât la vente des eaux selon le projet de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie.

PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES

Chez les Grecs, les sources étaient élevées au rang de divinités et respectées comme telles.

Actuellement encore, dans beaucoup de pays, les sources voisines d'une église ou d'un autre lieu saint, sont considérées comme des eaux bénies auxquelles nombre de malades viennent demander la guérison divine.

Chez les Romains, il y avait autour des sources un véritable périmètre de protection. Ceux qui détournaient ou souillaient les canalisations étaient sévèrement punis. Les citernes étaient, non seulement de véritables réservoirs, mais aussi et surtout de vastes chambres d'épuration.

La législation et l'organisation des eaux, notamment à Rome, étaient parfaites : Agrippa, à qui avait été confié la fonction de « curator perpetus aquarum », organisa un corps de 460 personnes chargées de ce service.

En France, de nombreuses explorations, expériences et épidémies ont amené le gouvernement, sur l'instance de divers savants : Duclaux, Martel et autres, à prendre des mesures de protection pour les eaux servant à l'alimentation, notamment dans les régions de leur infiltration.

Il ne faut pas perdre de vue que le sol est formé en partie de matières organiques, végétales et animales, déchets de tous les êtres qui vivent et meurent à la surface; il est donc propice à la pollution des germes. Evidemment, la nature met en jeu ses moyens de défense contre la pollution des germes; elle s'y oppose, par une série de phénomènes qui concourent à l'épuration naturelle du sol, à savoir :

1° La nitrification des matières organiques et leur transformation en sels minéraux, sous l'influence de germes spéciaux nitrificateurs du sol, soit sablonneux, soit calcaires (d'où découle le principe de l'épuration des eaux d'épandage);

2° Les algues et quelques germes non pathogènes qui s'efforcent de détruire les germes dangereux.

Mais il ne faut pas compter beaucoup sur cette défense naturelle; il suffit de penser à une pluie abondante qui entraîne avec vitesse tout ce qui est à la surface du sol, aussi bien les germes que les matières organiques en décomposition, et les charrie dans les divers orifices du sol, ne lui laissant ainsi pas le temps de mettre en jeu des moyens de défense.

Voici les principales mesures de protection prises par le gouvernement :

I. — En 1899, surveillance médicale des régions à infiltrations dangereuses au moyen de plusieurs procédés, notamment la détermination quotidienne de la résistivité électrique des eaux.

Tous les cas de maladies d'origine hydrique doivent être signalés immédiatement; une enquête comportera l'étude des causes possibles de contamination, à savoir : la présence de l'homme, soit en collectivité, soit isolément; le mode de culture et la nature des engrais; la projection des matières et eaux usées, etc., etc.

II. — En 1900, le ministère de l'Intérieur émit une circulaire prescrivant, à propos d'un captage d'eau potable, l'étude géologique de la région d'infiltration, l'analyse chimique et bactériologique, l'examen thermométrique et les expériences à la fluorescéine.

Ce captage doit être opéré en profondeur.

III. — La loi du 15 février 1902, sur la protection de la santé publique, prescrivait l'établissement de périmètres de protection et interdisait de jeter des ordures et des bêtes mortes dans les pertes d'eau courante, dans les abîmes, dans les avens et toutes autres ouvertures de surface, sous peine d'amende et d'emprisonnement. La même loi défendait encore l'évacuation des eaux résiduaires des porcheries, laiteries, hôpitaux, casernes, industries déjà existants dans les régions d'infiltration des eaux d'alimentation, ainsi que la fondation de nouveaux établissements de ce genre dans les mêmes régions.

Plusieurs commissions ont été formées depuis en vue d'assurer un assainissement et une surveillance rigoureuse de toutes les eaux potables.

Précautions à observer pour le captage des sources : ce captage doit être effectué entre la couche perméable et la couche imperméable; tout captage superficiel est susceptible d'être souillé par les infiltrations voisines ou lointaines.

Le plan de l'eau d'une source ne doit jamais être élevé; au contraire, il doit avoir un abaissement léger et définitif, en tenant compte que le niveau inférieur de ce plan correspond au niveau supérieur de la couche imperméable.

Il est préférable que le captage soit visitable, de façon à rendre sa surveillance et son entretien aisés.

Il faut dévier aussi loin que possible les accès d'eaux de ruissellement qui sont des causes certaines de contamination.

Comme il existe presque toujours des arbres et des arbustes à la surface d'infiltration, il faut les abattre sur une étendue de 30 mètres de rayon, de façon à éviter la formation de végétations qui s'accroissent très rapidement lorsque leurs racines pénètrent dans les drains.

Ces végétations constituent, non seulement un lieu d'habitation favorable pour les êtres inférieurs et même supérieurs, mais aussi leur cimetière perpétuel dont les produits de décomposition et les germes sont plus ou moins offensifs.

Le périmètre de protection des régions d'infiltration est une mesure très ingénieuse, très efficace, très facile à prescrire dans la législation rurale; mais à combien de difficultés matérielles se heurte-t-elle souvent : l'acquisition en pleine propriété, c'est-à-dire l'expropriation, pour cause d'utilité publique, de terrains, parfois de plusieurs kilomètres de rayon; la suppression des diverses installations dangereuses telles que : usines, casernes, cimetières, hôpitaux, fermes, etc., qui souillent, lentement mais continuellement, par leurs liquides excrémentiels, les eaux souterraines, sont des opérations très difficiles à réaliser en pratique, car elles nécessitent souvent des fonds considérables.

Le périmètre de protection des gouffres, abîmes, pertes, avens, etc., est certainement plus facile à réaliser, les dépenses étant inférieures.

Seulement, il faut lutter ici contre l'ignorance, l'inconscience, la mauvaise habitude et la mauvaise volonté des paysans.

Quant aux puits d'eau potable, certains qui paraissent suspects et tous ceux dont les nappes sont superficielles doivent être désaffectés. Les nouveaux doivent être percés loin de toute habitation, à 200 mètres au moins, en amont de l'agglomération et de toute annexe (abreuvoirs, cimetières); en aval du bois s'il en existe un; creusés à une profondeur de 25 à 50 mètres, sur un point élevé de façon à détourner les ruissellements loin de leur forage. Ils doivent être maçonnés d'une façon étanche jusqu'au niveau aquifère, entourés d'un périmètre de protection effectif, et munis d'un couvercle et d'une pompe d'aspiration.

EPURATION DES EAUX DANGEREUSES

Il arrive très souvent que, faute de mieux ou pour ne pas abandonner des installations colossales et très coûteuses (à Paris, par exemple), on est forcé d'utiliser des eaux impures, préalablement désinfectées pour la consommation.

L'épuration et la désinfection de ces eaux se font aujourd'hui d'une façon parfaite dans toutes les villes au moyen de divers procédés classiques : ozonisation, javellisation et verdunisation, filtrations sur sable, radiations aux rayons ultra-violetts, que nous n'avons pas à détailler dans cet aperçu.

Mais, dans les villages, où la consommation se fait à la source même, cette épuration est impossible. C'est précisément dans ces localités qu'il faut abandonner les sources suspectes et en capter de nouvelles préalablement étudiées et reconnues inoffensives.

CONCLUSION

D'importants résultats ont déjà couronné les efforts de nos spéléologues.

La loi du 15 février 1902 a permis de sérieuses améliorations : de nouvelles sources ont été captées; des eaux souterraines souillées ont été supprimées; d'autres, par des travaux appropriés, ont été soustraites à leur cause de contamination.

La mortalité par la fièvre typhoïde en est considérablement diminuée : de 1,43 par 1.000 habitants à la fin du dernier siècle, elle est tombée à 0,09 depuis l'amélioration des eaux et la pratique de la vaccination.

Les drainages souterrains, jadis réussis en Autriche, par désobstruction des entonnoirs absorbants, permirent une lutte salubre contre le paludisme et les inondations. Plusieurs pays, en suivant la même technique, peuvent bénéficier de ces avantages. L'industrie elle-même s'intéresse aux forces motrices et hydrauliques des pertes et émergences.

C'est encore grâce à la spéléologie que de nombreux villages privés d'eau potable ont acquis une alimentation en eau hygiéniquement pure.

Il reste cependant beaucoup à faire; dans bien des cas de captage des eaux, des fautes irréparables se commettent. Le géologue attaché au Conseil d'Hygiène examine la question au point de vue purement géologique, laissant de côté, faute de compétence, le point de vue spéléologique et par conséquent hygiénique. Avec juste raison, R. de Joly insiste pour que le Conseil d'Hygiène s'adjoigne un spéléologue qualifié qui assurera par ses explorations préalables de l'origine des eaux à capter et du degré de leur pureté.

Une pareille organisation offrirait le double intérêt, au point de vue financier, d'éviter d'importantes dépenses, et au point de vue hygiénique, de rejeter une source qui ne serait que l'émergence d'une eau contaminée.

Dans bien des localités, la loi de 1902 est encore lettre morte, à cause du mauvais vouloir ou des intérêts personnels de ceux-là mêmes qui devraient l'imposer, de l'inconscience et de l'ignorance des paysans, et, trop souvent, des préjugés faussement ancrés dans l'esprit du peuple.

La plupart des explorations mentionnées dans cet aperçu et effectuées récemment montrent que les paysans gardent encore leur néfaste habitude de jeter des immondices de toutes sortes et des bêtes mortes dans les abîmes.

Pour lutter contre ces indocilités, une surveillance plus sévère est à exercer par les autorités; parfois même, des sanctions seraient nécessaires pour les cas rebelles.

Contre l'ignorance, contre les préjugés, contre l'inconscience du peuple, une propagande plus sérieuse, une instruction plus approfondie de la question s'imposent.

Il faut susciter l'intérêt général par la publicité, par des conférences; créer de nombreuses associations filiales du « Spéléo-Club de France » (Montpellier). Il faut faire comprendre enfin à tout paysan que : respecter les lois, c'est s'assurer une meilleure santé et un meilleur avenir.

Il faut agir dans le sens même où se manifeste la marche générale de l'univers : chercher à améliorer les conditions de la vie de l'homme afin qu'il puisse devenir le maître de la nature et le vainqueur des êtres inférieurs.

Aux compétents, aux gens instruits — cellules nobles de cet organisme qu'est la société — il appartient de diriger et d'éclairer les ignorants — cellules banales de ce même organisme — afin que la vie commune aboutisse au perfectionnement de l'être idéal, à son bonheur, aujourd'hui et demain.

VU : *Le Président de Thèse,*

Signé : L. TANON.

VU : *Le Doyen,*

Signé : G. ROUSSY.

VU

et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

Signé : CHARLETY.

BIBLIOGRAPHIE

- E. A. MARTEL. — *Les Cavernes* (1890).
— *Les Abîmes* (1894).
— *La France Ignorée*, tomes I et II (1929).
— *L'Évolution Souterraine* (1919).
— *La Spéléologie*, Gauthier Villars (1900).
— *Les Eaux Souterraines* (1921).
— *Rapport au Congrès Hydrogéologique de Vienne*
 (non publié).
- E. FOURNIER. — *Les Eaux Souterraines* (1928).
— *Les Grottes et Rivières Souterraines* (1923).
- D^r E. IMBEAUX. — *Essai d'Hydrogéologie*.
- R. DE JOLY. — *Spéléologie et Hygiène Publique* (in *Annales d'Hygiène*,
 avril 1933). « *Spelunca* » N° 1 et N° 2.
Bulletin du Club Cévenol, N° 1, N° 2, N° 3, N° 4.
Bulletin du Comité d'Études des Eaux Souterraines de Rabat (1932).
Exploration de l'Aven des Roberts (1932).
Notes sur le Verdon et l'Artuby (1928).
Exploration de quelques avens de l'urgonien du Gard (1928).
Exploration de la Baume-Sainte-Anne (1932).

